**ԵՐԵՎԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ**

**ՖԻԶԻԿԱՅԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ**

**ԻՆՏԵԳՐԱԼ ՍԽԵՄԱՆԵՐԻ ՆԱԽԱԳԾՈՒՄ**

**ՌԱԴԻՈՖԻԶԻԿԱՅԻ ԿՐԹԱԿԱՆ ԾՐԱԳԻՐ**

**ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ ԱՐՄԵՆ ՌՈՒՍՏԱՄԻ**

**ԱՎԱՐՏԱԿԱՆ ԱՇԽԱՏԱՆՔ**

**14 ՆԱՆՈՄԵՏՐԱՆՈՑ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ ՀԱՄԱՐ 7ԳՀՑ ՀԱՃԱԽՈՒԹՅԱՄԲ ՀԱՄԵՄԱՏԻՉԻ ՆԱԽԱԳԾՈՒՄԸ**

***«Ռադիոֆիզիկա» մասնագիտությամբ***

***Ֆիզիկայի բակալավրի որակավորման աստիճանի հայցման համար***

***ԵՐԵՎԱՆ 2025***



***Ուսանող՝ ————————————————***



*ստորագրություն*

***Հարությունյան Արմեն***

***——————————————————————————————————————***

*ազգանուն, անուն*



***Ղեկավար՝ ————————————————***

***Գևորգյան Ալբերտ***

***——————————————————————————————————————***

*գիտ․ աստիճան, կոչում, ազգանուն, անուն*

***«Թույլատրել պաշտպանության»***

***Ամբիոնի վարիչ ՝* *————————————————***

*ստորագրություն*

***տ․գ․դ․,պրոֆ․, Մելիքյան Վազգեն***

***——————————————————————————————————————***

*գիտ․ աստիճան, կոչում, ազգանուն, անուն*

***« ——— » ——————20——թ․***



**ՀԱՄԱՌՈՏԱԳԻՐ**

* 14 նանոմետրանոց տեխնոլոգիական գործընթացի համար 7ԳՀց հաճախությամբ համեմատչի նախագծումը,
* Comparator design operating at 7Ghz using 14nm process,
* Разработка компаратора с частотой 7ГГц для технологического узла 14 нм,

Ավարտական աշխատանքի ընթացքում 14 նանոմետրանոց տեխնոլոգիական գործընթացի համար իրականացվելու է 7ԳՀց հաճախությամբ համեմատչի նախագծում և ստացված արդյունքների լավարկում։ Աշխատանքի կատարման ընթացքում օգտագործվել են Primesim, Custom Compiler, Waveview, ICV և StarRC ծրագրային գործիքները։

Ներածության բաժնում նկարագրված համեմատչի դերն և օգտագործման առանձնահատկությունները։ Տեսական բաժնում բերված են սխեմաների և սխեմայի մաս կազմող տարրերի աշխատանքի նկարագրությունները։ Այնուհետև բերված են նախագծված սխեմաների գրաֆիկները և ստացված արդյունքները ։



**ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ**

**ՀԱՄԱՌՈՏԱԳԻՐ ․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․3**

**ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ ․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․4**

**ՆԵՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆ ․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․5**

**ԽՆԴՐԻ ԴՐՎԱԾՔ․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․6**

**ԳԼՈՒԽ 1․ ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ԱԿՆԱՐԿ․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․.․7**

**1․1 Տրանզիստորներ ․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․7**

**1․2 Տրանզիստորը որպես հոսանքի աղբյուր (ՀԱ)․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․...11**

**1․3 Դիֆերենցիալ ուժեղարար ․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․.11**

**1․4 Օպերացիոն ուժեղարար ․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․.12**

**1․5 Համեմատիչի աշխատանքն ու բնութագրերը ․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․..15**

**1․6 Համեմատիչի պարամետրերը ․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․..16**

**1․7 Հիստերեզիսը համեմատիչում ․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․.18**

**1․8 Համեմատիչում հնարավոր աղմուկների տեսակները ․․․․․․․․․․․․․․․․..21**

**1․9 Արագագործ համեմատիչներ ․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․..23**

**1.10 Կոմլեմենտար ստատիկ սևեռիչ ․․․․****․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․..26**

**1․11 RS տրիգեր ․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․.28**

**ԳԼՈՒԽ 2․ ԿԱՏԱՐՎԱԾ ԱՇԽԱՏԱՆՔ ․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․..30**

**2․1 Սևեռիչով կոմպարատորի սխեմատեխնիկական նախագծումը ․․․․․․․․․.30**

**2․2 Համեմատչի ֆիզիկական նախագիծը ․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․32**

**2․3 Համեմատիչի ստացված բնութագրերը և պարամետրերի հաշվարկը ․․..․33**

**ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆ ․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․39**

**ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ ․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․․40**

**ՆԵՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆ**

Ժամանակակից անալոգային ինտեգրալ սխեմաների կառուցվածքում առանցքային դեր են կատարում երկու հիմնական տարրեր՝ ուժեղարարներն և համեմատիչները։ Եթե ուժեղարարների հիմնական գործառույթն է մուտքային ազդանշանի ուժեղացումը որոշակի գործակցով, ապա համեմատիչների նպատակն է՝ համեմատել մուտքային ազդանշանները միմյանց հետ։ Համեմատիչի (կոմպարատորի) մուտքին տրվող ազդանշանները դիֆերենցիալ ազդանշաններ են, իսկ ելքում ազդանշանների համեմատումից ստացվում է երկուական կոդով ազդանշան՝ տրամաբանական բարձր և ցածր մակարդակների տեսքով։ Եթե ազդանշանը փոքր է համեմատվող հենակային ազդանշանից, ապա համեմատիչի ելքում ձևավորվում է տրամաբանական ցածր մակարդակ, իսկ հակառակ դեպքում՝ բարձր մակարդակ։ Այս հատկության շնորհիվ համեմատիչը հաճախ դիտարկվում է որպես մեկ բիթանոց անալոգա-թվային ձևափոխիչ (ԱԹՁ) ։

Բարձր արագագործություն ու ցածր էներգասպառում ունեցող անալոգա-թվային ձևափոխիչները ժամանակակից անալոգային ինտեգրալ սխեմաներում մեծ պահանջարկ ունեն։ Անալոգա-թվային ձևափոխիչները իրենց հերթին պահանջում են մեծ արագագործությամբ համեմատիչներ։ Այս աշխատանքում ներկայացվելու է արագագործ սևեռիչով կամպարատորի նախագծումը։ Այսպիսի համեմատիչներն ունեն լայն կիրառում, ստատիկ վիճակում չեն սպառում հզորություն, արագագործ են, ելքային ազդանշանը տատանվում է սնուցման պոտենցիանելի միջև ամբողջ տիրույթով, զբաղեցնում են փոքր մակերես և այլն։

**ԽՆԴՐԻ ԴՐՎԱԾՔ**

Խնդրի դրվածքն է SAED14nm տեխնոլոգիայով նախագծել 7ԳՀց հաճախությամբ համեմատիչ ջերմաստիճանային [-40; 125]⁰C միջակայքում փոփոխության և տեխնոլոգիական TT, SS, FF պրոցեսների փոփոխության դեպքում:

Աշխատանքի ընթացքում կատարվել է համեմատչի պարամետրական օպտիմալացում Primesim ծրագրային գործիքով: Արդյունքները արտածվել են Waveview ծրագրային գործիքի միջոցով:

Դիտարկված սխեման բավարարել է տեխնիկական առաջադրանքի պահանջներին։

**ԳԼՈՒԽ 1**

**ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ԱԿՆԱՐԿ**

**1․1 Տրանզիստորներ**

Տրանզիստորը կիսահաղորդչային սարք է, որը հիմնականում օգտագործվում է որպես ազդանշանների ուժեղացուցիչ կամ փոխանջատիչ։ Այն լարումով ղեկավարվող հոսանքի աղբյուր է։ Տրանզիստորը հիմնականում երեք ելուստ ունի (կախված հարթակի ելուստի միացումից տրանզիստորը կարող է ունենալ նաև 4 ելուստ)։

Տրանզիստորները բաժանվում են երկու հիմնական տեսակի՝ դաշտային և բիպոլյար։ Դիտարկենք ՄՕԿ (մետաղ-օքսիդ-կիսահաղորդիչ) կառուցվածքով դաշտային տրանզիստորը։

A black and white image of a house

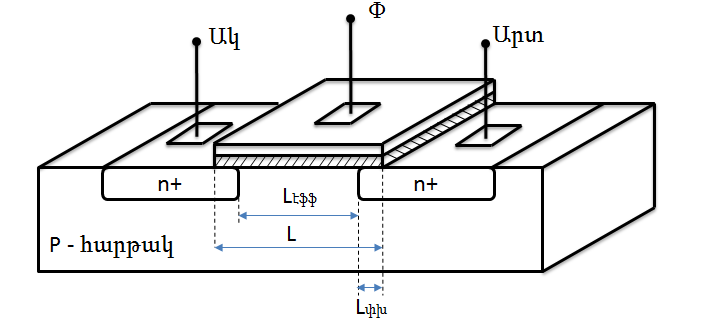
AI-generated content may be incorrect.ՄՕԿ տրանզիստորը դաշտային տրանզիստորի տեսակ է, որն ամենատարածվածն է ժամանակակից ինտեգրալ սխեմաներում։ Նախքան ՄՕԿ տրանզիստորի ուսումնասիրումը այն կարելի դիտարկել որպես պարզեցված մոդել և հասկանալ վերջինիս հիմնական ֆունկցիոնալությունն և վարքը: Տրանզիստորի հիմնական մոդելն ունի նկ․1․1․1-ի տեսքը.

(ա) (բ)

Նկ.1.1.1։P**-**ՄՕԿ (ա) և N**-**ՄՕԿ (բ) տրանզիստորի սիմվոլային նշանակումը

Տրանզիստորի հիմնական ֆունկցիոնալ ելուստներն են՝ փականը (1), ակունքը (2), արտաբերը (3) և հարթակը (4): Թվարկածներից 2-րդը և 3-րդը սիմետրիկ են։ N-ՄՕԿ տրանզիստորի արտաբեր է ընտրվում բարձր պոտենցյալին միացրած ոտքը, իսկ P-ՄՕԿ տրանզիստորի մոտ հակառակն է: Նկ․1․1․1-ում ակունքն առանձնացված է սլաքով:

Տրանզիստորը իրենից ներկայացնում է էլեկտրական բանալի․ փականի որոշակի արժեքի դեպքում այն բաց է և նրանով (արտաբերից ակունք) հոսանք է հոսում, իսկ լարման մեկ այլ արժեքի դեպքում այն կտրված է: Այլ կերպ ասած տրանզիստորը կարելի է ընդունել որպես լարումով կառավարվող բանալի:

N-ՄՕԿ տրանզիստորի լայնական հատույթի կտրվածքը պատկերված է նկ․1.1․2-ում։ Այսուհետ տրանզիստորի աշխատանքի սկզբունքը կբացատրվի n տիպի տրանզիստորի աշխատանքի հիման վրա:

Նկ.1.1.2։N**-**ՄՕկ տրանզիստորի լայնական հատույթի կտրվածքը

Քանի որ արդի տեխնոլոգիաներում փականի նվազագույն երկարությունը կազմում է մի քանի նմ , այդ իսկ պատճառով կատարյալ ճշտություն ստանալը շատ դժվար է և շատ հաճախ ի հայտ են գալիս տրանզիստորի չափերի և պարամետրերի որոշակի տեխնոլոգիական անճշտություններ: Մասնավորապես, Լփխ – ի տեսքով (նկ.1.1․2), այսինքն էֆֆեկտիվ կանալի երկարությունը (Lէֆֆ) մոտավորապես ստացվում է՝

Lէֆֆ =  L – 2 \* Lփխ  (1.1),

որտեղ Lէֆֆ-ը արդյունարար կամ էֆֆեկտիվ լայնությունն է, իսկ Լ-ը ընդհանուր լայնությունն է:

Պետք է ուշադրություն դարձնել այն փաստին, որ տրանզիստորի գրպանիկները հարստացված են (n+), ինչը նշանակում է, որ այդ տեղամասում կիսահաղորդիչն իր հատկություններով ավելի մոտ է հաղորդչին, հետևաբար գրպանիկի և ակունքի (արտաբերի) մետաղական ոտքի միջև կառաջանա ոչ թէ Շոտկիի (մետաղ - կիսահաղորդիչ),  այլ օհմական (մետաղ - մետաղ) կոնտակտ: Այդ տեղամասով հոսող հոսանքը պոտենցիալների տարբերության փոփոխությունից կախված կփոխվի գծային:

Նկ. 1.1․2-ում պատկերված չէ տրանզիստորի հիմնական ելուստներից 4-րդը՝ հարթակը: Այլ կերպ ասած p տիպի հարթակն իրենից ներկայացնում է ևս մեկ ելուստ, որը՝ n տիպի տրանզիստորի դեպքում, միացվում է ամենացածր պոտենցիալին: Դա արվում է, որպեսզի հարթակի և գրպանիկների միջև առաջացած p-n անցումները միշտ հակառակ շեղված լինեն: Սա մեկուսացման մեթոդ է, որը օգնում է խուսափել հոսանքի կորուստներից:

ՄՕԿ կառուցվածքով տրանզիստորը ունի աշխատանքային 3 ռեժիմներ, որոնք հիմնականում որոշվում են փական-ակունք լարման ՝ 𝑉փ−ակ, շեմային լարման ՝ 𝑉շեմ և ակունք-արտաբեր պոտենցիալների՝ 𝑉ակ−ար համեմատությամբ։ Աշխատանքայի 3 ռեժիմներն են՝

* 𝑉փ−ակ < 𝑉շեմ ՝ տրանզիստորը գտնվում է փակ ռեժիմում։
* 𝑉փ−ակ > 𝑉շեմ և 𝑉ակ−ար < 𝑉փ−ակ - 𝑉շեմ՝ տրանզիստորը գտնվում է գծային ռեժիմում։
* 𝑉փ−ակ > 𝑉շեմ և 𝑉ակ−ար > 𝑉փ−ակ - 𝑉շեմ՝ տրանզիստորը գտնվում է հագեցման ռեժիմում։

ԻՍ-ների նախագծման ժամանակ միշտ անհրաժեշտ է ստանալ ավելի մեծ արագագործություն ավելի քիչ էներգասպառմամբ և ավելի փոքր մակերեսով կիսահաղորդչային բյուրեղի օգտագործմամբ։ Կարևորագույն լուծումներից մեկը կայանում է ՄՕԿ տրանզիստորների փոխարեն եռաչափ հոսքուղով տրանզիստորների (FinFET) օգտագործման մեջ։

FinFET տրանզիստորը ժամանակակից ՄՕԿ-ի եռաչափ բարելավված տարբերակն է, որը նախագծվել է հաղթահարելու այն սահմանափակումները, որոնք ի հայտ են գալիս, երբ պլանար ԿՄՕԿ տեխնոլոգիան հասնում է չափսերի խիստ նվազեցման (22նմ-ից փոքր)։ Դրա հիմնական առանձնահատկությունն այն է, որ փականի մեջ ներկառուցվում է կիսահաղորդչային շերտ, որը «ֆին» է կոչվում և տրանզիստորի միացված վիճակում հոսքուղին ձևավորվում է դրա շուրջ, այսինքն ունի տարածական բնույթ (նկ․1․1․3)։

A diagram of a diagram of a cube

AI-generated content may be incorrect.Նկ.1.1.3։ Եռաչափ հոսքուղով տրանզիստորը

Դրա հաշվին էապես բարելավվում են տրանզիստորի հատկությունները։ Եռաչափ հոսքուղով տրանզիստորներում տրանզիստորի- միացված ռեժիմում հոսքուղին ձևավորվում է ոչ միայն փականի տակ, ինչպես հարթ ԿՄՕԿ տրանզիստորի դեպքում, այլև ֆինի շուրջը, այսինքն այս դեպքում հոսքուղին եռաչափ է ։ Այս հատկության շնորհիվ է, որ բոլոր նորագույն տեխնոլոգիական գործընթացներով (16նմ, 14նմ, 7նմ) պատրաստվող ԻՍ-ներում օգտագործվում են միայն այդ տիպի տրանզիստորներ։

A red and green cubes

AI-generated content may be incorrect.Եռաչափ հոսքուղով տրանզիստորների կառուցման համար դիտարկվել են դրանց տարբեր տարատեսակները։ Նկ․1․1․4-ում ցուցադրված են եռաչափ հոսքուղու ստացման տարբեր տարատեսակներ։

Նկ.1.1.4։Եռաչափ հոսքուղով տրանզիստորը

Իրական ԻՍ-ներում տարածում գտան միայն եռափական տրանզիստորները։ Վերջիններս, իրենց հերթին բաժանվում են երկու տարատեսակների՝ միավորված և անկախ փականներով տրանզիստորների։ Դրանց սկզբունքային տարբերությունն այն է,որ առաջին դեպքում տրանզիստորը կառավարվում է մեկ ընդհանուր փականից, իսկ երկրորդ դեպքում՝ երկու տարբեր փականներից, որոնք ստացվում են ընդհանուր փականի վերևի մասի հեռացմամբ։

**1․2 Տրանզիստորը որպես հոսանքի աղբյուր (ՀԱ)**

Իդեալական հոսանքի աղբյուրը սխեմա է,  որն ապահովում է հաստատուն հոսանք՝ անկախ արտաքին պայմաններից։ Նրա հոսքը չի փոխվում նույնիսկ այն դեպքում, երբ փոփոխվում է ջերմաստիճանը, բեռի դիմադրությունը, սնուցման լարումը։ Իդեալական հոսանքի աղբյուրը բնութագրվում է անվերջ մեծ ելքային դիմադրությամբ, որի շնորհիվ հոսանքը մնում է անփոփոխ, անկախ ելքային լարումների տատանումներից։ Իրականում իդեալական աղբյուրը հնարավոր չէ իրականացնել։ Իրական հոսանքի աղբյուրները ունեն սահմանափակ ելքային դիմադրություն և հոսքը կայուն պահում են միայն որոշակի աշխատանքային միջակայքում։ Հոսանքի աղբյուրները օգտագործվում են որպես հաստատուն հոսանք ապահովող սխեմաներ, որպես դինամիկ բեռ, շեղում մտցնող սխեմաներում և այլն:

Պարզագույն հոսանքի աղբյուր կարող ենք կառուցել, եթե ուսումնասիրենք ՄՕԿ տրանզիստորի ելքային բնութագիրը, որը բերված է նկ․1․2․1-ում․

A diagram of a graph

AI-generated content may be incorrect.Նկ.1.2.1։Ընդհանուր ակունքով ՄՕԿ տրանզիստորի ելքային բնութագիրը

Ինչպես երևում է նկ. 1.2․1-ից, փականի լարումը հաստատուն պահելիս ակունք-արտաբեր լարման փոփոխման որոշակի միջակայքում արտաբերի հոսանքը չի փոխվում։ Այսպիսով, այդ տիրույթում տրանզիստորը կարող է աշխատել որպես ՀԱ:

**1․3 Դիֆերենցիալ ուժեղարար**

Դիֆերենցիալ ուժեղարարը սխեմա է, որն ուժեղացնում է երկու մուտքային ազդանշանների տարբերությունը։ Այն մեծ կիրառություն ունի ինտեգրալ սխեմաներում։ Դիֆերենցիալ ուժեղարարներն ունեն մի շարք առավելություններ, ինչպիսիք են՝ աղմկակայունությունը, ինֆորմացիայի փոխանցման հուսալիությունը, դիֆերենցիալ մուտքը, սնուցման աղմուկի ճնշումը։  Պարզագույն դիֆերենցիալ Diagram, schematic

Description automatically generatedուժեղարարի սխեման բերված է նկ․1.3․1-ում։

Նկ․1․3․1։ Դասական դիֆերենցիալ ուժեղարար

Կատարենք հետևյալ դիֆերենցյալ ուժեղարարի աշխատանքի վերլուծությունը: Ենթադրենք 𝑅1=𝑅2=𝑅𝐷 և տրանզիստորների մուտքային ազդանշանների տարբերությունը (𝑉in1−𝑉in2) փոխվում է -∞-ից +∞։ Եթե 𝑉in1–ը ավելի փոքր է քան 𝑉in2–ը, ապա I2 (աջ ճյուղի հոսանքը) հավասար կլինի 𝐼𝑠𝑠, Vout2 = VDD - 𝑅𝐷𝐼𝑠𝑠 և 𝑉out1=𝑉𝐷𝐷։ Եթե Vin2–ը փոքրացնենք՝ զուգահեռ մեծացնելով Vin1-ը, ապա Vout2 կսկսի աճել։ Երբ Vin1= Vin2, ապա յուրաքանչյուր ճյուղով հոսող հոսանքը հավասար կլինի 𝐼𝑠𝑠/2 և ելքային ազդանշանի ընդհանուր լարումը կլինի VDD– RD𝐼𝑠𝑠/2:

Դիֆերենցիալ ուժեղարարը ունի երկու հիմնական պարամետրեր՝ ելքային ազդանշանի աշխատանքային տիրույթը (VDD և VDD-RD\*Iss) և ցածր ազդանշանային ուժեղացման ֆունկցիայի թեքությունը(Vout1-Vout2 )= f (Vin1-Vin2)։

**1․4 Օպերացիոն ուժեղարար**

Օպերացիոն ուժեղարարը մեծ ուժեղացման գործակից և մուտքային դիմադրություն ունեցող տարր է, որը հիմնական կիրառություն ունի հետադարձ կապով համակարգերում: Դժվարություն է հանդիսանում ՕՈւ-ի հաճախականային վերլուծությունը և լավարկումը, քանի որ  ՕՈւ-ի ուժեղացման գործակիցը, ինչպես նաև մի շարք այլ պարամետրեր ունեն հաճախականային կախվածություն։ Տարբեր պարամետրերի կախվածությունը հաճախականությունից կարող է լինել ինչպես ուղիղ, այնպես էլ հակադարձ:

A diagram of a triangle with lines and symbols

AI-generated content may be incorrect. Դիտարկենք  ՕՈւ-ն որպես «սև արկղ», որn ունի երկու մուտք և մեկ ելք (նկ․1․4․1):

Նկ․1․4․1։ Օպերացիոն ուժեղարար

Իդեալական օպերացիոն ուժեղարարն ունի հետևյալ հատկությունները․

* Մեծ մուտքային դիմադրություն (Rin->∞)

Որպես ՕՈւ-ի մուտքային կասկադ կարելի է վերցնել ակտիվ հոսանքի հայելի բեռով դիֆերենցիալ ուժեղարար, որի մուտքը ՄՕԿ տրանզիստորի փական է (մեծ մուտքային դիմադրություն):

* Մեծ ելքային լարման աշխատանքային տիրույթ և փոքր ելքային դիմադրություն (Rout->0):

Դիֆերենցիալ ուժեղարարն այս սահմանափակմանը չի բավարարում, քանի որ ելքային աշխատանքային տիրույթն ունի ներքևից սահմանափակում (անհրաժեշտ լարմամբ երկու տրանզիստորների հագեցման ռեժիմում պահելու համար)։ Իսկ եթե դիֆերենցյալ ուժեղարարի մուտքային դիֆերենցիալ զույգը n-ՄՕԿ է, սահմանափակված կլինի վերևից:

* Մեծ ուժեղացման գործակից (Av->∞)։

A diagram of a house

AI-generated content may be incorrect.Նկ․1․4․1։ Օպերացիոն ուժեղարարը որպես համեմատիչ

Երկկասկադ օպերացիոն ուժեղարարի հիման վրա համեմատիչներն իրենցից ներկայացնում են առանց հետադարձ կապի օպերացիոն ուժեղարար: Որպես օպերացիոն ուժեղարար կարելի է վերցնել երկկասկադ օպերացիոն ուժեղարարի սխեման (նկ․1․4․2): Եթե խոսքը գնում է երկկասկադ ՕՈւ-ի մասին, ապա նրա արդյունարար ուժեղացման գործակիցը կլինի՝

Av ~ Av(ԴՈւ) x Av(ԸԱ) (1.2),

որտեղ Av(ԴՈւ)-ն դիֆերենցիալ ուժեղարարի ուժեղացման գործակիցն է, իսկ  Av(ԸԱ)-ն ընդհանուր ակունքով ուժեղարարի ուժեղացման գործակիցը։

Ի տարբերություն միակասկադ և դիֆերենցիալ ուժեղարարների, երկկասկադ ՕՈւ-ն կազմված է երկու կասկադներից, որոնցից յուրաքանչյուրը ունի իր նշանակությունը: Երկկասկադ ՕՈւ-ն կազմված է ակտիվ հոսանքի հայելի բեռով դիֆերենցիալ ուժեղարարից (մեծ ուժեղացման գործակից ապահովելու համար), որի անմիջապես ելքում միացված է ընդհանուր ակունքով միակասկադ ուժեղարարը (մեծ ելքային ազդանշանի աշխատանքային տիրույթ ապահովելու համար): Երկկասկադ ՕՈւ-ներում ուժեղացման գործակիցը հավասար է դիֆերենցիալ կասկադի և ընդհանուր ակունքով ուժեղարարի ուժեղացման գործակցի արտադրյալին: Սակայն այդ ուժեղացման գործակիցները ունեն հաճախականային կախվածություններ:

**1․5 Համեմատիչի աշխատանքն ու բնութագրերը**

A diagram of a triangle

AI-generated content may be incorrect.Համեմատիչը սարք է, որը համեմատում է երկու մուտքերին տրված անալոգային ազդանշանները և ելքում տալիս թվային ազդանշան: Նկ․1․5․1-ում պատկերված է համեմատիչի սիմվոլը։

Նկ․1.5.1։ Համեմատչի սիմվոլը

Երբ չինվերսող (+) մուտքի լարումը մեծ է ինվերսող (-) մուտքի լարումից, ապա համեմատիչի ելքում ձևավորվում է տրամաբանական 1, իսկ երբ ինվերսող (-) մուտքի լարումն է մեծ չինվերսող (+) մուտքի լարումից, ապա համեմատիչի ելքում ձևավորվում է տրամաբանական 0։ Նկ․1․5․2-ում պատկերված է իդեալական դեպքում համեմատչի մուտքային և ելքային ազդանշանները ։

A diagram of a function

AI-generated content may be incorrect.

Նկ․1.5.2։ Իդեալական դեպքում համեմատչի մուտքային և ելքային ազդանշանները

Համեմատչի մուտքերից մեկին հիմնականում տալիս են հենակային լարում (Vref), իսկ մյուս մուտքի լարումը համեմատում են այդ հենակային լարման մակարդակի հետ։ Կախված համեմատչի որ մուտքին է տրված հենակային լարումը, համեմատիչները կարող են լինել ինվերսող կամ չինվերսող։

A diagram of a triangle with a diagram and symbols

AI-generated content may be incorrect.A diagram of a function

AI-generated content may be incorrect.Երբ հենակային լարումը տրված է համեմատչի դրական մուտքին, իսկ բացասական մուտքին հենակային լարման հետ համեմատվող ազդանշանը, ապա համեմատիչը ինվերսող է (նկ․1․5․3)։

Նկ․1.5.3։ Ինվերսող համեմատիչ

A diagram of a triangle with text

AI-generated content may be incorrect.A diagram of a function

AI-generated content may be incorrect.Երբ հենակային լարումը տրված է համեմատչի բացասական մուտքին, իսկ դրական մուտքին հենակային լարման հետ համեմատվող ազդանշանը, ապա համեմատիչը չինվերսող է (նկ․1․5․4)։

Նկ․1.5.4։ Չինվերսող համեմատիչ

**1․6 Համեմատիչի պարամետրերը**

Համեմատչի հիմնական պարամետրերն են արագագործությունը , սպառվող հզորությունը, զգայունությունը, հապաղումը, շեղման լարումը, հիստերեզիսը և այլն:

Համեմատիչի արագագործությունը ցույց է տալիս, թե որքան մեծ հաճախությամբ փոփոխվող մուտքային լարման տարբերությունը մյուս մուտքի նկատմյամբ այն կարող է զգալ և արդյունքը փոխանցել ելք:

Համեմատիչի զգայունությունը ցույց է տալիս թե ինչ մինիմալ մուտքային լարումների տարբերությունը այն կարող է համեմատել և փոխանցել ելք:

Արձագանքման ժամանակը կամ հապաղումը դա այն ամենափոքր ժամանակային ինտերվալն է, որն անհրաժեշտ է մուտքային համապատասխան ազդանշանների կիրառումից հետո սխեմայի ելքում համապատսխան տրամաբանական մակարդակի ձևավորման համար։ Կառավարվող սևեռիչով համեմատչի դեպքում այն չափվում է մուտքային սինքրոն ազդանշանի փոփոխվելու պահից մինչև ելքային ազդանշսնի ձևավորման պահը (Td)(նկ․1․6․1)։ Արձագանքման ժամանակը կախված է մուտքային ազդանշանի քայլի ամպլիտուդից։

A diagram of a diagram

AI-generated content may be incorrect.Նկ․1.6.1։ Համեմատիչի հապաղումը

Մուտքային լարման շեղումը մուտքային լարման այն չափն է, որն անհրաժեշտ է ելքում ցածր և բարձր մակարդակների միջև փոխանջատում ստանալու համար։ Սրան անվանում են նաև մուտքային օֆսեթ։ Շեղման առաջացման հիմնական պատճառը մուտքային տրանզիստորների անհամապատասխանությունն է (կամ մուտքային տրանզիստորների շեմային լարումների անհավասարությունը), ինչը հիմնականում առաջանում է արտադրական պրոցեսի ժամանակ։ Օֆսեթին համեմատական մուտքային ազդանշանների դեպքում փոխանջատումը ելքում կարող է տեղի ունենալ ոչ ցանկալի արժեքների դեպքում կամ հնարավոր է ընդհանրապես ելքը չփոխանջատվի։ Այս պարամետրը բացասական ազդեցություն է թողնում սխեմայի աշխատանքի վրա։ Մասնավորապես շեղման լարման հետևանքով երկու ելքային ազդանշանների միջև կարող են առաջանալ կտրուկ փոփոխություններ: Ինչքան ավելի մեծ է համեմատիչի զգայունությունը, այնքան ավելի մեծ կլինեն աղմուկների ազդեցությունը ելքային ազդանշանի վրա։ Այդ պատճառով հաճախ մտցվում է հիսթերեզիս:

**1․7 Հիստերեզիսը համեմատիչում**

A diagram of a square with arrows

AI-generated content may be incorrect.Եթե համեմատչի մուտքային ազդանշանները աղմկոտ են լինում, ընդ որում աղմուկն էլ մեծ ամպլիտուդներով է և համեմատիչը բավականին արագագործ է, ապա ելքը նույնպես աղմկոտ կլինի: Հիստերեզիսի էֆեկտը օգտագործվում են, որպեսզի ելքում աղմուկներից խուսափեն: Հիստերեզիսը համեմատիչի հիմնական հատկություններից է, ըստ որի փոխանջատման լարումը ֆունկցիա է հանդիսանում մուտքային (կամ ելքային) լարման մակարդակից: Եթե մուտքային լարումը (Vմ) սկսում է աճել մի բացասական արժեքից, ապա փոխանջատում տեղի չի ունենա այնքան ժամանակ, մինչև մուտքային լարումը չընդունի արժեք: Սակայն փոխանջատվելուց հետո փոխանջատման մուտքային լարման արժեքը փոխվում է, ու եթե Vմ սկսի նվազել դրական արժեքից, ապա -ում փոխանջատում տեղի չի ունենա, այլ կփոխանջատվի միայն, երբ մուտքին տրվի լարում և հաջորդ փոխանջատման կետը նորից կփոխվի:

Նկ․1.7.1։ Հիստերեզիս

A diagram of a voltage

AI-generated content may be incorrect.Նկ․1․7․1-ում պատկերված է հիստերեզիսով համեմատիչի լարման փոխանցման ֆունկցիան, որը կոչվում է երկստաբիլ բնութագիր(ԵԲ): ԵԲ-ն նկարագրվում է բարձրությամբ, լայնությամբ և ուղղությամբ, այն կարելի է նաև տեղաշարժել հորիզոնական ուղղությամբ:Ժամսլաքին ուղղությամբ ԵԲ-ն անվանում են ինվերտող, իսկ ժամսլաքի հակառակ ուղղությամբ` չինվերտող:

Նկ․1.7.2։ Աղմուկի առկայության արդյունքներ

Նկ․1.7․2-ում պատկերված է, թե աղմկոտ մուտքային լարման դեպքում ինչպիսի ոչ ցանկալի արդյունքներ կարելի է ստանալ։ Սակայն հիստերեզիսի հատկությունը օգտագործելով աղմուկներով պայմանավորված փոխանջատումներ այլևս տեղի չեն ունենա:

Հիստերեզիսը համեմատիչներում իրականացվում է երկու ձևով: Առաջին դեպքում համեմատիչին արտաքինից միացվում է դրական հետադարձ կապ։ Երկրորդ դեպքում հետադարձ կապը միացվում է կոմպարատորի մեջ և արտաքին հետադարձ կապի միացում այլևս չի պահանջվում:

A diagram of a circuit

AI-generated content may be incorrect.Հիստերեզիսով համեմատիչի փոխանջատման կետերի արժեքները գտնենք, երբ արտաքինից հետադարձ կապը միացված է ոչ ինվերսող համեմատիչին (նկ․1․7․3)։

Նկ․1.7.3։ Ոչ ինվերսող համեմատիչ

Ենթադրենք Vմ-ը շատ փոքր է դրական մուտքի լարումից։ Այստեղ ելքային լարումը կլինի Vեց: Եթե Vմ-ը մեծանա, ապա -ը կարելի է գտնել այն պահին, երբ դրական մուտքում լարումը լինի 0 (փոխանջատման կետ): Եթե դրական մուտքի լարման արտահայտությունը հավասարեցնենք 0-ի, ապա կստանանք՝

(1.3)

Ենթադրենք, որ Vմ -ը շատ մեծ է համեմատչի դրական մուտքի լարումից, այդ դեպքում ելքում կստացվի Vեբ, իսկ երբ Vմ նվազի մինչև փոխանջատման վիճակ, այսինքն դրական մուտքի լարումը հավասարվի 0-ի, ապա կստացվի`

(1.4)

A diagram of a circuit

AI-generated content may be incorrect.ԵԲ-ի լայնությունը տրվում է հետևյալ կերպ`

(1.5)

Նկ․1.7.4։ Ինվերսող համեմատ

Նկ․1.7․4-ում պատկերված է ինվերսող և արտաքին հետադարձ կապով համեմատիչ, որի համար նույն մեթոդներով կարելի է ստանալ, որ

(1.6)

(1.8)

ԵԲ-ի կենտրոնը կարելի է տեղաշարժել հորիզոնական ուղղությամբ։ Դրա համար արտաքինից հետադարձ կապ միացված ոչ ինվերսող համեմատիչին միացնում են հաստատուն լարման աղբյուր, ինչպես որ պատկերված է նկ․1.7․5-ում:

A diagram of a circuit

AI-generated content may be incorrect.A diagram of a square with lines and arrows

AI-generated content may be incorrect.Նկ․1.7.5։ Հաստատուն լարման աղբյուրի միջոցով ԵԲ-ի կենտրոնի հորիզոնական տեղաշարժը

**1․8 Համեմատիչում հնարավոր աղմուկների տեսակները**

Աղմուկ կարելի է համարել բոլոր խանգարումները, որոնց հետևանքով տեղի է ունենում ազդանշանների աղավաղում: Աղմուկները կարող են լինել արտաքին և սեփական: Նկ․1.8.1-ում պատկերված է համեմատիչի վրա հնարավոր աղմուկների տեսակները։

A diagram of a company

AI-generated content may be incorrect.

Նկ․1.8.1։ Համեմատիչում հնարավոր աղմուկների տեսակները

Սեփական աղմուկներ առկա են բոլոր էլեկտրոնային համակարգերում: ԿՄՕԿ համակարգերում առկա աղմուկներից տարածված են Շոտկիի, ջերմային, Ֆլիկեր (1/f), գեներացիոն-ռեկոմբինացիոն աղմուկները:

Հաղորդչում էլելկտրոնների քաոսային շարժումը առաջացնում է լարման ֆլուկտացիաներ անգամ այն դեպքում, երբ միջին հոսանքը հավասար է զրոյի: Ջերմային աղմուկի սպեկտրը հաճախությունից անկախ է և ներկայացնում է սպիտակ աղմուկ: Ջերմային աղմուկը կախված է ջերմաստիճանից։ Ցածր ջերմաստիճանային տիրույթում աշխատող սխեմաների վրա ջերմային աղմուկը փոքր է և ցածր ջերմաստիճանում ՄՕԿ կառուցվածքներում լիցքակիրների շարժունակությունն ավելի մեծ է:

ՄՕԿ կառուցվածքներում փականի օքսիդի և հարթակի միջև սահմանին տեղի ունեցող երևույթների արդյունքում լիցքակիրները կարող են պատահական կերպով փոխել իրենց էներգետիկ վիճակը, ինչի արդյունքում կարող են առաջանալ հոսանքներ, ինչը պատճառ է հանդիսանում ակունք-արտաբեր հոսանքում աղմուկի առաջացման: Ի տարբերություն ջերմային աղմուկի այս աղմուկի համար միջին հզորության հաշվարկը ավելի բարդ է և այն կախված է օքսիդ-սիլիկոն ֆիզիկական կառուցվածքի առանձնահատկություններից ու կարող է տարբեր լինել մեկ ԿՄՕԿ տեխնոլոգիայից մյուսին անցնելիս:

Արտաքին աղմուկներից առանձնանում են սնուցման դողերի աղմուկները: Սնուցման դողերը բնութագրվում են որոշակի դիմադրությամբ և ինդուկտիվությամբ, հետևաբար այդպիսի աղմուկներ առկա են բոլոր համակարգերում։

Ինտեգրալ սխեմաների աշխատանքի հուսալիությունն ու ճշգրտությունը մեծապես կախված են սնուցման լարման կայունությունից։ Սնուցման լարումների վրա տարբեր պատճառներով կարող են առաջանալ շեղումներ, որոնք կարող են դրսևորվել լարման ինչպես հաստատուն, այնպես էլ փոփոխական բաղադրիչների մակածման միջոցով: Սնուցման դողերի պարազիտիկ դիմադրությունների, ունակությունների և ինդուկտիվությունների հետևանքով սխեմայում տարրերի փոխանջատումների հետևանքով կարող են առաջանալ սնուցման լարման արժեքի տատանումներ: Պարազիտիկ դիմադրության հետևանքով առաջանում է սնուցման լարման հաստատուն մակարդակի փոփոխություն, որն էլ ուղիղ համեմատական է սպառվող հոսանքին: Տեխնոլոգիաների զարգացման ընթացքում ինտեգրացիայի աստիճանի անընդհատ աճը բերել է նրան, որ համակարգերում միևնույն սնուցման դողից սնվող անալոգային և թվային տարրերի թիվը կարող է շատ մեծ լինել, հետևաբար համեմատիչի դեպքում սնման լարումը կարող է աղավաղվել ինչպես իր սեփական փոխանջատման, այնպես էլ այլ շղթաների փոխանջատումների հետևանքով: Հաշվի առնելով այն հանգամանքը, որ ԿՄՕԿ տեխնոլոգիաների զարգացման ընթացքում սնուցման լարումների արժեքները նվազել են` սնուցման աղմուկների խնդիրը դառնում է ավելի արդիական: Երբ փոխանջատվող տարրերի քանակը ավելի մեծ է ազդանշանի տեսքը ավելի շատ նմանվում է պատահական խանգարման և հենց այդ պատճառով այն անվանում են սնուցման աղմուկ:

Քանի որ համեմատիչները բավականին զգայուն համակարգեր են, հետևաբար աղմուկների ազդեցությունը համեմատիչների աշխատանքի վրա կարող է բերել լուրջ խնդիրների` անգամ համեմատիչի համեմատման գործողության խափանման:

**1․9 Արագագործ համեմատիչներ**

A diagram of a circuit

Description automatically generatedԱրագագործ համեմատիչը պետք է ունենա հնարավորինս փոքր հապաղման ժամանակ: Խնդրի լուծումը իրականացնում են սկզբնական նախաուժեղարարի կասկադով ազդանշանը ուժեղացնելով, այնուհետև հաղորդում են սևեռիչին: Համադրելով բացասական էքսպոնենցիալ կախվածություն ունեցող շղթան դրական կախվածությամբ շղթայի հետ կարելի է ստանալ լավ արդյունք: Նկ․1.9․1-ում պատկերված է մի օրինակի բնութագիր, որտեղ մուտքային լարումը նախ ուժեղացվում է նախաուժեղարարով մինչև VX, այնուհետև փոխանցվում է սևեռիչին, որն էլ հասցնում է այն վերջնական վիճակի:

(ա) (բ)

Նկ․1.9.1։ Սևեռող շղթայի վրա հիմնված համեմատիչ(ա), դինամիկ սևեռիչ(բ)

A diagram of a function

AI-generated content may be incorrect.Արագագործ համեմատիչը պետք է հնարավորինս փոքր հապաղման ժամանակ ունենա: Խնդրի լուծումը իրականացնում են սկզբնական նախաուժեղարարի կասկադով ազդանշանը ուժեղացնելով` այնուհետև հաղորդելով սևեռիչին: Լավ արդյունք կարելի է ստանալ` համադրելով բացասական էքսպոնենցիալ կախվածություն ունեցող շղթան, դրական կախվածությամբ շղթայի հետ: Նկ․1․9․2-ում պատկերված է մի օրինակի բնութագիր, որտեղ մուտքային լարումը նախ ուժեղացվում է նախաուժեղարարով մինչև VX, այնուհետև փոխանցվում է սևեռիչին, որն էլ հասցնում է այն վերջնական վիճակի:

Նկ․1.9.2։ Նախաուժեղարարի և սևեռիչի համադրում

Միայն սևեռիչի կիրառմամբ այդ նույն արդյունքը ստանալու համար կպահանջվեր ավելի երկար ժամանակ, իսկ միայն նախաուժեղարարով իրականացնելու դեպքում կպահանջվեր ավելի մեծ ուժեղացում, բայց միևնույնն է ավելի մեծ ժամանակ կպահանջվի այդ նույն արդյունքի համար։ Սևեռիչից առաջ տեղադրվող նախաուժեղարարը ունի նաև մի հատկություն, որ սևեռիչի շեղման լարումը վերանում է և համեմատիչի շեղման լարումը դառնում է պայմանավորված նախաուժեղարարի շեղման լարումով, որը կարելի է զրոյացնել։

Համեմատիչի նախաուժեղարարը պատկերված է նկ․1․9․3-ում, որտեղ

(1.9)

A diagram of a circuit

AI-generated content may be incorrect.իսկ նրա ելքում միացված է որոշում կայացնող սարք` սևեռիչ:

Նկ․1.9.3։ Համեմատիչի նախաուժեղարարը և սևեռիչը

Այն հանդիսանում է համեմատիչի ամենագլխավոր մասը և պետք է կարողանա տարբերակել մՎ-երի տարբերությամբ ազդանշաններ: Որոշում կայացնող սարքը կարելի է նախագծել այնպես, որ համեմատիչի աշխատանքում նկատվի հիստերեզիս: Նախաուժեղարարի ելքում միացված որոշում կայացնող սարքում կիրառված է դրական հետադարձ կապ M6 և M7 տրանզիստորներով, որպեսզի մեծացնի որոշում կայացնող էլեմենտի ուժեղացումը:

Գտնենք որոշում կայացնող սարքի փոխանջատման կետը և տեսնենք, թե ինչպես կարելի է ստանալ հիստերեզիս: Նախ ենթադրենք, որ i+ե հոսանքը ավելի մեծ է, քան iբե հոսանքը, այնպես որ M5 և M7 տրանզիստորները բաց են, իսկ M6 և M8` փակ: Ենթադրենք նաև, որ  և : Այսպիսի նախապայմանների դեպքում Vբե լարումը մոտ է զրոի, իսկ : Եթե iբե հոսանքը սկսենք մեծացնել, իսկ iդե -ն` նվազեցնել, ապա փոխանջատում կսկսի տեղի ունենալ, երբ M8-ի փական-ակունք լարումը հավասարվի Vշ-ի: Երբ M8-ի Vփա լարումը գերազանցում է Vշ-ը, ապա M5-ի ամբողջ հոսանքը սկսում է անցնել M6-ով, դա բերում է -ի անկման M5 և M6 տրանզիստորներում, որի արդյունքում M7-ը փակվում է: Երբ M8-ի Vփա-ի արժեքը բավականին մոտենում է Vշ-ին, բայց M6 և M8 տրանզիստորներով անցնող հոսանքը դեռ զրո է, ապա M7 և M5-ով անցնող հոսանքները , , հետևաբար ։

Եթե , ապա փոխանջատումը տեղի է ունենում, երբ iբե և iդե հոսանքները հավասարվում են իրար: Եթե , ապա համեմատիչի աշխատանքում կդիտվի հիստերեզիս: Կարելի է գտնել փոխանջատման կետերը`

, երբ  (1.10)

: (1.11)

Համեմատիչի վերջնական բաղադրիչը դա ելքային բուֆերն է, որի հիմնական դերը որոշում կայացնող սարքի ելքում ստացված ազդանշանը տրամաբանական ազդանշանի վերածելն է: Այն պետք է կարողանա ընդունել դիֆֆերենցիալ մուտքային ազդանշան և չպետք է ունենա սահմանափակումներ` կապված ելքային լարման փոփոխման արագության հետ: Որպեսզի որոշում կայացնող սարքի ելքային ազդանշանների տիրույթը ընկնի դիֆֆերենցիալ ուժեղարարի սինֆազ աշխատանքի (common-mode) տիրույթ, որոշում կայացնող սարքին ավելացվում է դիոդային միացմամբ տրանզիստոր: Բեռի ունակությունների ազդեցությունները ինքնակարգավորվող դիֆֆերենցիալ ուժեղարարից մեկուսացնելու համար, վերջինիս ելքում միացվում է շրջիչ։

**1.10** **Կոմլեմենտար ստատիկ սևեռիչ**

Ռեգեներատիվ, տակտավորվող համեմատիչների հիմնական բաղկացուցիչ մաս է կազմում կոմպլեմենտար ստատիկ սևեռիչը, որը իրենից ներկայացնում է մուտք-ելք ելուստները իրար միացված երկու շրջիչներ, որի սխեման և պայմանական գրաֆիկական նշանակումը պատկերված է նկ.1.10.1–ում:

Նկ․1․10․1։ Սևեռիչի պայմանական գրաֆիկական նշանակումը (ա) և սևեռիչի սխեման (բ)

Շրջիչներից մեկը կազմված է n1, p1 իսկ մյուսը n2, p2 տրանզիստորներից։ Սևեռիչի մուտք-ելք բնութագիրը բերված է նկ․1․10․2-ում։

A diagram of a curve

AI-generated content may be incorrect.Նկ․1․10․2։ Սևեռիչի մուտք-ելք բնութագիրը

Բնութագիրը ստացվել է երկու շրջիչների մուտք ելք բնութագրերի համադրումից։ Այն ունի երկու ստաբիլ և մեկ մետաստաբիլ վիճակ։ Մետաստաբիլ վիճակին համապատասխանում է կետը, որը առաջանում է , երբ սևեռիչի մուտքի և ելքի լարումները հավասար են իրար։ Երբ սևեռիչի ելուստների միջև առաջանում է = (t = 0) − (t = 0) չափով փոքր շեղում, սկսվում է դրական հետադարձ կապը։

Քանի որ սևեռիչում երկու շրջիչներն իրար հավասար են (սիմետրիկ են ), ապա կարելի է ենթադրել , որ հավասար են նաև համապատասխան տրանզիստորային զույգերի հաղորդականության գործակիցները, ինչպես նաև ելքային դիմադրությունները։

**1․11 RS տրիգեր**

A grid of numbers and letters

AI-generated content may be incorrect.A diagram of a circuit

AI-generated content may be incorrect.Տրիգերները թվային բջիջներում հիմնական էլեմենտներից են։ Դրանք հիմնականում նախատեսված են մուտքին ստացած ազդանշանը ինչ-որ ժամանակ ելքում պահելու համար։ Նկ․1․11․1-ում պատկերված են ԿՄՕԿ RS տրիգգերի (RS-սևեռիչ) տարրական սխեման (ա), նրա իսկության աղյուսակը (բ) և սիմվոլը (գ)։

(ա) (բ)

A diagram of a square with black lines

AI-generated content may be incorrect. (գ)

Նկ․1.11.1։ RS-սևեռիչի սխեման (ա), իսկության աղյուսակը (բ), սիմվոլը (գ)

Երբ S մուտքը ընդունում է տրամաբանական բարձր արժեք, իսկ R մուտքը ընդունում է տրամաբանական ցածր արժեք, Q ելքի պոտենցիալը բարձրանում է։ Քանի որ S-ի և Q-ի արժեքները հավասար են լինում տրամաբանական ՛1՛-ի !Q-ն ընդունում է տրամաբանական ՛0՛ արժեք։ Իսկ այն դեպքում, երբ S և R մուտքերը ընդունում են տրամաբանական ցածր արժեք, սևեռիչի ելքերը պահպանում են իրենց նախնական արժեքները։ Այս տիպի տրիգերները կոչվում են ասինքրոն։

Գոյություն ունեն նաև սինքրոն տրիգերներ։ Դրանք աշխատում են կառավարող ազդանշանի (clk) օգնությամբ։ Նկ․1․11․2-ում պատկերված է տակտավորող ազդանշանի տրամաբանական ցածր մակարդակով աշխատող RS տրիգերի սխեման հիմնված ԵՎ-ՈՉ տարրերի վրա։ս

A diagram of a person

AI-generated content may be incorrect.

Նկ․1.11.2։ Տակտավորող ազդանշանի բացասական մակարդակով աշխատող RS-սևեռիչ

**ԳԼՈՒԽ 2****ԿԱՏԱՐՎԱԾ ԱՇԽԱՏԱՆՔ**

**2․1 Սևեռիչով կոմպարատորի սխեմատեխնիկական նախագծումը**

A diagram of a computer

AI-generated content may be incorrect.Նախագծված սխեման պատկերված է նկ․2.1․1-ում։ Համեմատիչը կառավարվում է տակտավորող (clk) ազդանշանով։ Համեմատման և ելքերում համապատասխան արժեքների ձևավորման հիմնական գործողությունը անում են վերևի 4 P-ՄՕԿ և կենտրոնում գտնվող 5 N-ՄՕԿ տրանզիստորները։ Աջ և ձախ կողմերում երկու ելքերին միացված են շրջիչներ ելքային ազդանշանները բուֆերացնելու համար։

Նկ․ 2․1.1։ Համեմատիչի սխեմատեխնիկական նկարագիրը

Քանի որ տակտավորող ազդանշանի տրամաբանական ՛0՛ արժեքի դեպքում համեմատչի ելքերում ձևավորվում է տրամաբանական բարձր մակարդակ, համեմատչին հաջորդաբար միացված է դինամիկ RS-սևեռիչ՝ տակտավորող ազդանշանի տրամաբանական ՛1՛ արժեքի դեպքում կոմպարատորի ելքերում հաստատված ազդանշանները ստանալու և պահպանելու համար։ Այն նույնպես աշխատում է տակտավորող ազդանշանի դրական ճակատով։ RS-սևեռիչի սխեմատիկական նկարագիրը ներկայացված է նկ․ 2․1․2-ում։

A diagram of a circuit

AI-generated content may be incorrect.

Նկ․ 2․1.2։ RS-սևեռիչի սխեմատիկական նկարագիրը

A diagram of a circuit

AI-generated content may be incorrect.Համեմատչի թեստավորման համար նախագծվել է նկ․2.1․3-ում պատկերված թեստավորման սխեման։ RS-սևեռիչից հետո սխեմայում տեղադրված են բուֆերներ ելքային ազդանշանը բուֆերացնելու համար։

Նկ․ 2․1.3։ Համեմատիչի թեստավորման սխեման

**2․2 Համեմատչի ֆիզիկական նախագիծը**

Համեմատչի ֆիզիկական նախագիծն արվել է Custom Compiler ծրագրային միջոցի Layout Editor խմբագրիչի միջոցով։ Ֆիզիկական նախագծից ստացվել է պարազիտիկ քաղվածք, որը օգտագործվել է մոդելավորման ավելի իրական արդյունքներ ստանալու համար։ Ֆիզիկական նախագծի մակերեսը կազմել է 3․504 մկմ2։

A computer generated image of a circuit board

AI-generated content may be incorrect.Նկ․2․1․2-ում պատկերված դինամիկ RS-սևեռիչին համապատասխանող ֆիզիկական նախագիծը բերված է նկ․ 2․2․1-ում։

Նկ․ 2․2.1։ RS-սևեռիչի ֆիզիկական նախագիծը

Նկ․2․1․1-ում պատկերված համեմատչին համապատասխանող ֆիզիկական նախագիծը բերված է նկ․ 2․2․2-ում։

A computer screen shot of a building

AI-generated content may be incorrect.Նկ․ 2․2.2։ Համեմատիչի ֆիզիկական նախագիծը

RS-սևեռիչի և համեմատչի սխեմաները ունեն սիմետրիակության առանցք։ Դա նշանակում է, որ ֆիզիկական նախագիծը նույնպես պետք է կատարել՝ պահպանելով հնարավոր մաքսիմալ սիմետրիկություն։ Այս նպատակով 2 դեպքերում էլ նախագծվել է սխեմայի միայն մի ճյուղը, իսկ մյուսը ստացվել է առաջինի հայելային արտապատկերումից։

**2․3 Համեմատիչի ստացված բնութագրերը և պարամետրերի հաշվարկը**

Թեստավորման սխեմայի շնորհիվ ժամանակային անալիզի արդյունքում որոշվել են կոմպարատորի զգայունությունը, հապաղումը, մաքսիմալ հաճախությունը և հոսանքի միջին արժեք։ Բոլոր պարամետրերը չափվել են TT, SS, FF, FS, SF դեպքերի համար, համապատասխանաբար՝ 25OC, 125 OC, -40OC, 25OC և 25OC ջերմաստիճանների դեպքում։

Զգայունությունը չափվել է աշխատանքային 7ԳՀց հաճախության դեպքում հետևյալ եղանակով․ կոմպարատորի բացասական մուտքին (Vinn) տրվել է հենակային 0․45Վ լարում, իսկ դրական մուտքի ազդանշանը վերևից և ներքևից մոտեցվել է բացասական մուտքի լարման արժեքին՝ մինչև շղթայի ելքում ազդանշանի A diagram of a computer

AI-generated content may be incorrect.աղավաղվելը (նկ․2․3․1)։

Նկ․ 2․3.1։ Զգայունության չափումը TT դեպքի համար

Զգայունության արժեքները սխեմատեխնիկական նմանակման դեպքում և պարազիտային դիմադրությունները և ունակությունները հաշվի առած դեպքում, ներկայացված են Աղյուսակ 1-ում, չափված՝ TT, SS, FF, FS և SF դեպքերի համար։

Աղյուսակ 1․ Զգայունության չափված արժեքներ

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Զգայունություն**  **(մկՎ)** |  | **Սխեմատեխնիկական նմանակում** | **Պարազիտային նմանակում** |
|  | TT | 140 | 650 |
|  | SS | 180 | 750 |
|  | FF | 30 | 420 |
|  | FS | 85 | 570 |
|  | SF | 50 | 480 |

Հապաղումը չափվել է աշխատանքային 7ԳՀց հաճախության դեպքում, բացասական մուտքին տրվել է հենակային 0․45Վ լարում, իսկ դրական մուտքի լարման շեղումը ±10մՎ է։ Հապաղումը չափվել է տակտավորող և ելքային A screenshot of a computer

AI-generated content may be incorrect.ազդանշանների միջև։ TT դեպքի համար հապաղումը ցույց է տրված նկ․2․3․2-ի բնութագրով։

Նկ․ 2․3.2։ TT դեպքի համար հապաղումը չափված սխեմատեխնիկական նմանակման համար

Հապաղման արժեքները չափված՝ TT, SS, FF, FS և SF դեպքերի համար, ներկայացված են Աղյուսակ 2-ում։

Աղյուսակ 2․ Հապաղման չափված արժեքներ

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Հապաղում**  **(պվ)** |  | **Սխեմատեխնիկական նմանակում** | **Պարազիտային նմանակում** |
|  | TT | 19 | 28․3 |
|  | SS | 21․2 | 32․7 |
|  | FF | 13․5 | 22․6 |
|  | FS | 13․2 | 21․9 |
|  | SF | 12․6 | 21․1 |

Աշխատանքային մաքսիմալ հաճախությունը չափվել է բացասական մուտքի հենակային 0․45Վ լարման, իսկ դրական մուտքի ±10մՎ լարման շեղուման համար։

A screenshot of a graph

AI-generated content may be incorrect.Նկ․2․3․3-ում պատկերված են կոմպարատորի բնութագրիրը աշխատանքային մաքսիմալ հաճախությունների համար SS դեպքի սխեմատեխնիկական նմանակում համար։

Նկ․ 2․3.3։ SS դեպքի համար մաքսիմալ հաճախությունը չափված սխեմատեխնիկական նմանակման համար

A screenshot of a computer

AI-generated content may be incorrect.Նկ․2․3․4-ում պատկերված են կոմպարատորի բնութագրիրը աշխատանքային մաքսիմալ հաճախությունների համար FF դեպքի պարազիտային նմանակում համար:

Նկ․ 2․3.4։ FF դեպքի համար մաքսիմալ հաճախությունը չափված պարազիտային նմանակման համար

Կոմպարատորի աշխատանքային մաքսիմալ հաճախության արժեքները չափված՝ TT, SS, FF, FS և SF դեպքերի համար, ներկայացված են Աղյուսակ 3-ում։

Աղյուսակ 3․ Աշխատանքային մաքսիմալ հաճախության չափված արժեքներ

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Աշխատանքային մաքսիմալ հաճախություն**  **(ԳՀց)** |  | **Սխեմատեխնիկական նմանակում** | **Պարազիտային նմանակում** |
|  | TT | 26․2 | 17․3 |
|  | SS | 23․1 | 15․6 |
|  | FF | 32․3 | 22 |
|  | FS | 27․4 | 23․3 |
|  | SF | 27․3 | 23․1 |

A screen shot of a graph

AI-generated content may be incorrect.Շղթայում հզորությունը, հետևաբար նաև էներգասպառումը բնութագրող հիմնական մեծությունը նրանով հոսող հոսանքն է։ Հոսանքի միջին արժեքը չափվել է աշխատանքային 7ԳՀց հաճախության դեպքում, բացասական մուտքին տրվել է հենակային 0․45Վ լարում, իսկ դրական մուտքի լարման շեղումը ±10մՎ է։ Հոսանքի միջին արժեքը ճշգրիտ չափելու համար կոմպարատորի մուտքային ազդանշանները տրված են այնպես, որ փոխանջատում տեղի ունենա տակտավորող ազդանշանի ցանկացած դրական ճակատից հետո (նկ․2․3․5)։

Նկ․2․3.5։ TT դեպքի համար հոսանքը չափված պարազիտային նմանակման համար

Կոմպարատորով հոսող հոսանքի միջին արժեքները չափված՝ TT, SS, FF, FS և SF դեպքերի համար, ներկայացված են Աղյուսակ 4-ում։

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Միջին հոսանք**  **(մկԱ)** |  | **Սխեմատեխնիկական նմանակում** | **Պարազիտային նմանակում** |
|  | TT | 115 | 146 |
|  | SS | 84․6 | 96․7 |
|  | FF | 187․2 | 174․7 |
|  | FS | 171․5 | 161․4 |
|  | SF | 169․8 | 160․3 |

Աղյուսակ 4․ Հոսանքի չափված միջին արժեքներ

**ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆ**

* Ուսումնասիրվել և նախագծվել է սևեռիչով դինամիկ համեմատիչի սխեման։
* Կատարվել է սխեմայի ֆունկցիոնալ ստուգում և պարամետրական օպտիմալացում ըստ տեխնիկական առաջադրանքի։
* Կատարվել է համեմատիչի և սևեռիչի սխեմաների ֆիզիկական նախագծումը։
* Ֆիզիկական նախագծումից հետո ստացվել է պարազիտային քաղվածք, ինչից հետո ստացվել են պարամետրերի այնպիսի արժեքներ, որոնք բավարարում են տեխնիկական առաջադրանքին․
* Սխեմայի մակերեսը կազմել է 3.504 մկմ2 , աշխատանքային հաճախությունը՝ 7ԳՀց, զգայունության արժեքը վատագույն դեպքում՝ 750մկՎ, հապաղումը վատագույն դեպքում՝ 32․7պվ։

**ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ**

1. Baker J.R. CMOS Circuit Design, Layout, and Simulation. – 4th Edition. - John Wiley and & Sons, Inc., Publication, 2019. - 1235p.

2. Razavi B. Design of Analog CMOS Integrated Circuits. Mc Graw Hill India, 2017. – 782p.

3. Rajesh “A 3GHz Low-offset Fully Dynamic Latched Comparator HighSpeed and Low-Power ADCs”, 2013.pp 84-89,

4. Vishnu B. Kulkarni - Low-Voltage CMOS Comparators With Programmable Hysteresis, New Mexico State University, Las Cruces, New Mexico 2005. - 103p

 5. Behzad Razavi, The StrongARM Latch //Wiley-IEEE Press, 2015.pp 12-17.